

From Cosmology to Space Technologies: Environmental and Ethical Issues Regarding Space Exploitation

De la cosmologie aux technologies spatiales : enjeux environnementaux et éthiques de
l'exploitation de l'espace

Alndingangar Dimngar
Ousmane Mahamat Maldou

Article history:

Submitted: June 18, 2026

Revised: July 29, 2026

Accepted: Aug. 2, 2026

Keywords:

Cosmology, space technologies,
orbital pollution, climate crisis,
environmental ethics,
stratosphere

Mots-clés :

Cosmologie, technologies
spatiales, pollution orbitale, crise
climatique, éthique
environnementale, stratosphère

Abstract

From mythological cosmogonies to technological astrophysics, and from geocentrism to heliocentrism, the aim of cosmology is to understand the universe's origin, structure, evolution, and destiny. This article proceeds from the hypothesis that space technologies—stemming from advancements in astronomy and astrophysics—have ambivalent effects on the environment. The central question is whether the tools and technologies associated with space exploration exacerbate the environmental crisis or offer a means to resolve it. The analysis employs a diachronic and quantitative approach combined with critical inquiry to trace the evolution of cosmological concepts over time, examine space-utilization technologies, and evaluate their environmental, ethical, and political implications. The findings indicate that, on the one hand, these technologies are assets for understanding and predicting environmental phenomena. On the other hand, through atmospheric and stratospheric pollution and the overexploitation of space, space technologies are detrimental to the environment. With the intensification of astrophysical and astronautical activities, space is becoming a geostrategic hub, a site for corporate conglomerates, and a zone for postmodern tourism. While the environmental benefits and risks of space activities are well known, the drive for power, profitability, and utilitarianism has overshadowed environmental concerns; consequently, the political, scientific, and ethical responses fall short of the urgency of the environmental crisis. Yet, the time to act is now.

Résumé

Des cosmogonies mythologiques à l'astrophysique technologique, du géocentrisme à l'héliocentrisme, la finalité de la cosmologie est de connaître l'origine de l'univers, sa structure, son évolution et son destin. L'article part de l'hypothèse selon laquelle les technologies spatiales, issues du développement de l'astronomie et de l'astrophysique, exercent des effets ambivalents sur l'environnement. La principale préoccupation est de savoir si les outils et technologies liés à l'exploration spatiale sont-ils des facteurs d'aggravation ou des moyens de résolution de la crise environnementale. Cette réflexion est menée dans une méthode diachronique, quantitative et d'analyse critique permettant d'étudier l'évolution des conceptions cosmologiques dans le temps, d'examiner les technologies d'exploitation de l'espace et d'évaluer les enjeux environnementaux, éthiques et politiques. Il en résulte que ces technologies sont, d'une part, un atout pour la connaissance et la prévision des manifestations environnementales. D'autre part, par leur pollution de l'atmosphère, de la stratosphère et la surexploitation de l'espace, les technologies spatiales sont nuisibles à l'environnement. Avec l'intensification des activités de l'astrophysique et de l'astronautique, l'espace devient un pôle géostratégique, un site des conglomérats et une zone de tourisme postmoderne. Les atouts et les risques environnementaux des activités spatiales sont connus. Mais la volonté de puissance, la lucrativité ou l'utilitarisme ont pris le pas sur le naturalisme, si bien que les implications politiques, scientifiques et éthiques ne sont pas à la hauteur de l'urgence environnementale. Et pourtant c'est maintenant qu'il faut agir.

Uirtus © 2026

This is an open access article under CC BY 4.0 license

Corresponding authors:

Alndingangar Dimngar

Université de Moundou

Email : alngardimngar72@gmail.com

Ousmane Mahamat Maldou

Université de N'Djaména

Email : omahamatmaldou@gmail.com

Introduction

Depuis la haute antiquité, l'homme s'interroge sur l'univers qui l'entoure, impressionné par cette étendue infinie, émerveillé par sa beauté. Tout au long de l'évolution des connaissances, une quête sans relâche est lancée dans le but de découvrir les mystères de l'espace, de comprendre, d'expliquer la formation et le fonctionnement de l'univers. La cosmologie contribue à cette fin. En effet, la cosmologie est une branche de l'astrophysique qui « étudie l'Univers dans son ensemble : son origine, sa structure, son évolution et sa destinée » (Taillet). Elle permet de nombreuses découvertes sur la dynamique cosmique, allant de l'origine de la matière à la formation des étoiles, aux galaxies, aux super-galaxies, à l'extension continue de l'univers. Des cosmogonies anciennes, mythiques interprétatives, cherchant la compréhension de l'ordre du monde, l'on arrive à la cosmologie moderne, s'appuyant sur la mathématisation de l'univers, avec les sciences de l'espace que sont l'astronomie ou science d'observation des astres, l'astrophysique qui est l'étude physique des objets célestes et l'astronautique, science et technique de la navigation spatiale.

Ces dernières ont pour activités le lancement des fusées, l'installation des satellites et des stations orbitales, l'exploration et exploitation de l'espace et le tourisme spatial, entre autres. Ces activités semblent impactées l'environnement. Ce qui nous conduit à ce thème : « De la cosmologie aux technologies spatiales : enjeux environnementaux, politiques et éthiques de l'exploitation de l'espace ». Notre préoccupation principale est de savoir comment les technologies spatiales issues du développement de l'astronomie, de l'astrophysique et de l'astronautique contribuent-elles à la connaissance et à la protection du climat, tout en générant de nouveaux risques environnementaux dans l'atmosphère, la stratosphère et dans l'espace orbital ? Toutes les industries polluantes qu'elle développe et l'exploitation intensive qu'elle favorise, les activités spatiales seraient une des causes de la dégradation de l'environnement. Cependant, grâce à leurs capacités d'observation et de prédiction, elles pourraient être utiles dans l'évaluation et la prévention des crises environnementales. Dans une méthode diachronique, nous présenterons d'abord l'évolution historique des représentations cosmologiques, puis par une approche d'analyse critique, nous analyserons les apports et les effets environnementaux des technologies spatiales contemporaines, avant d'examiner les réponses juridiques, technologiques et

éthiques envisageables.

1 - Des cosmogonies antiques à la cosmologie scientifique : fondements historiques d'une compréhension astronomique du climat

L'homme développe, au fil de temps, des connaissances sur l'univers, des techniques de transformation et des capacités d'adaptation à son environnement. Les prévisions météorologiques par l'observation empirique des astres marquent une étape de l'astronomie du climat. S'en suivent des découvertes scientifiques et la révolution industrielle, avec les énergies fossiles, permettant l'invention des instruments de d'astrophysique et d'astronautique de plus en plus performants.

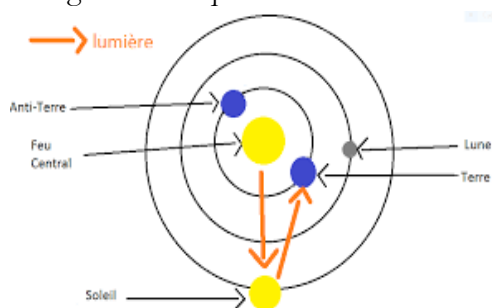
1-1 . Des cosmogonies aux astrologies climatiques antiques

Les cosmogonies sont les récits mythologiques qui racontent la généalogie de la formation du monde. En cela, elles se distinguent de la cosmologie qui permet d'étudier l'origine matérielle et l'évolution de l'univers dans son ensemble, au-delà du système solaire. Le recours aux mythes a été le fondement des cosmogonies antiques qui ont cherché à connaître les origines du monde et son fonctionnement. Les anciens ont procédé par la division indifférenciée dont nous prenons ici pour l'exemple la mythologie égyptienne de *Noun*³⁹, au deuxième millénaire avant notre ère. En effet, d'après ce mythe, il existait une étendue d'eau infinie, le *Noun* d'où émergera le démiurge *Atoum*⁴⁰. Il va alors donner naissance au couple *Shou*, dieu de l'air, et *Tefnout*, déesse de l'humidité, qui eux-mêmes engendreront *Geb*, le dieu de la Terre, et *Nout*, la déesse du Ciel. Ils donneront naissance aux cinq autres dieux primordiaux : *tOsiris*, *Horus*, *Seth*, *Isis* et *Nephtys* qui permettront l'avènement de l'Homme et de la civilisation (Grenier). Notons qu'à cette période antique, c'est à l'œil nu que les premiers astronomes avaient cherché à comprendre les cieux à travers des présages. Ils interprétaient les messages, disaient-ils, adressés par les dieux aux hommes et aux rois. Les manifestations météorologiques et phénomènes climatiques ainsi que les mouvements des corps célestes sont expliqués par la bonne ou mauvaise humeur de ces divinités.

³⁹ *Noun* ou *Nouou* (Nwn) est un Océan primordial, c'est-à-dire qui a fait la vie et qui fera la mort ; sans créateur, il s'étend autour du monde.

⁴⁰ *Atoum* est considéré comme le seigneur de l'univers dont le nom signifie à la fois ce qui est mais aussi ce qui a été.

Plus tard, l'astronomie grecque a commencé son l'étude de l'univers, avec des représentations différentes. Elle est caractérisée par le passage d'une vision mythologique au ciel à une approche rationnelle et géométrique. Elle a transformé la simple observation des astres en sciences physiques et mathématiques, cherchant à percer les rouages mécaniques du Cosmos.

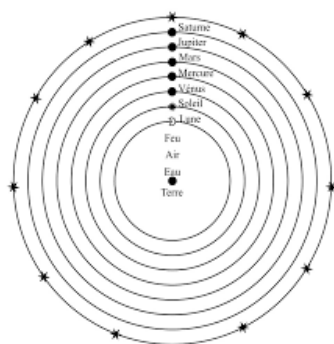


Les Grecs cherchaient des explications physique et géométriques de la structure de l'Univers, des trajectoires et la périodicité des planètes. Pythagore (570 – 475 avt J.C) a présenté un univers où les corps célestes orbitent autour du Feu Central. (Figure 1).

Figure I⁴¹

Aristote (384-322 avt J.-C.), quant à lui, a représenté l'Univers géocentrique. Le système d'Aristote était un modèle de l'univers où la Terre est au centre de l'Univers, et tous les autres corps célestes, y compris le Soleil, la Lune, les planètes et les étoiles, gravitent autour d'elle. Ce système divise l'univers en *Monde sublunaire* et *Monde supralunaire* : Le premier est la zone située en dessous de la Lune, où se trouvent la Terre et les éléments tels que l'air, l'eau, le feu et la terre.

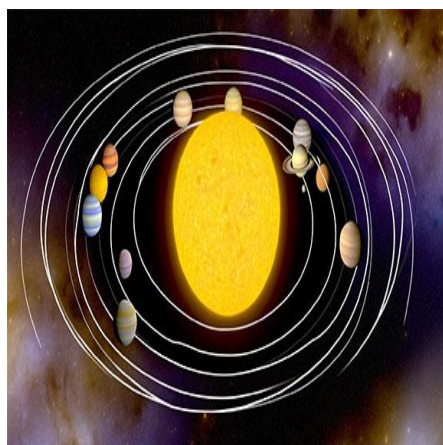
⁴¹ Source : © 2024 Zeste de Savoir, « Pythagore et l'astronomie », Les découvertes des Pythagoriciens, https://clg-bergson-garches.ac-versailles.fr/IMG/pdf/pythagore_et_l_astroonomie.pdf



Selon Aristote, ces éléments sont corruptibles et changent constamment. Le second est la région au-delà de la Lune, où se trouvent les corps célestes (les planètes, le Soleil et les étoiles). Il en dit : « Les cieux sont faits d'une substance éthérée, parfaitement sphérique, et leur mouvement est circulaire » (287a). Soulignons que dans la cosmologie aristotélicienne, le monde sublunaire est composé d'éléments climatiques, notamment Terre, avec le feu, l'air, l'eau, sujets à la génération, à la corruption, aux changements aussi bien naturels qu'anthropiques, c'est-à-dire causés par les activités humaines.

Figure II⁴²

Quelques décennies après, le géocentrisme aristotélicien est remis en cause, surtout par Aristarque de Samos (vers 310-230 av. J.-C.). Surnommé le « Copernic de l'Antiquité », Aristarque est le premier à avoir formulé un système héliocentrique, expliquant que c'est plutôt la Terre qui tourne autour de Soleil.



Sa thèse est que le Soleil est immobile au centre de l'Univers, et la Terre tourne autour de lui selon un cercle. Il a affirmé également que la Terre effectue une rotation quotidienne sur son propre axe. En tentant de mesurer les distances Terre-Lune et Terre-Soleil, il a conclu que le Soleil est beaucoup plus volumineux que la Terre. Il paraît alors plus logique que le corps le plus petit grave autour du plus grand. Ce raisonnement a ouvert à la cosmologie moderne ou l'astrophysique.

⁴² Source : Vincent Deparis, 2017, La structure du monde – du cosmos des mythologies au géocentrisme, Culture sciences. Physique. <https://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/pdf/cosmos-geocentrisme.pdf>

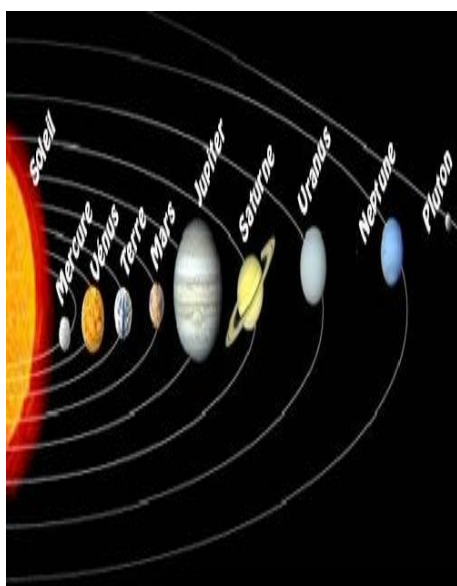
Figure 3⁴³

1-2. L'émergence de la cosmologie climatique moderne

Les figures de proue de la cosmologie moderne sont le Polonais Nicolas Copernic (1473 - 1543), l'Allemand Johannes Kepler (1571 - 1630) et l'Italien Galileo Galilée (1564 - 1642). Dans son ouvrage *Des révolutions des sphères célestes* (1543), Copernic a démontré mathématiquement que c'est le Soleil qui est centre du système planétaire, autour de quoi gravitent la Terre et les autres planètes, révolutionnant ainsi la vision géocentrique antique et médiévale du Cosmos. La révolution copernicienne a jeté les bases astrophysiques de la théorie astronomique du climat. D'après cette théorie, les variations à long terme du climat sont déclenchées par des changements dans la distribution de l'énergie solaire reçue. Ces changements climatiques dépendent des variations de l'orbite terrestre, de l'inclinaison de l'axe de la Terre et de sa direction.

À sa suite, Kepler affine le modèle héliocentrique. Dans sa *Nouvelle astronomie* (1609), il postule une force d'origine magnétique, émanant du Soleil, pour expliquer le mouvement des planètes, jetant les bases de la gravitation. Ses théories sur le mouvement des planètes expliquent les variations climatiques astronomiques. La deuxième loi de Kepler, appelée loi des aires, énonce que « Le rayon vecteur reliant une planète au Soleil balaie des aires égales pendant des intervalles de temps égaux ». La vitesse de la Terre varie sur son orbite elliptique, modifiant la durée d'exposition au Soleil et à l'énergie reçue au fil des saisons. Ainsi, la Terre se déplace plus rapidement quand elle est proche du Soleil (périhélie) et plus lentement lorsqu'elle en est éloignée (aphélie). Cela implique donc des variations de l'ensoleillement et des températures saisonnières.

⁴³ Source : James LEQUEUX, « Aristarque de Samos : l'une des premières théories héliocentriques de l'univers » Signes & science, <https://presse.signesetsens.com/science/aristarque-de-samos-premiere-theories-heliocentriques-univers.html>



Avec Galilée nous en arrivons à la physique expérimentale, posant les bases d'un univers mécanique et mathématique, ouvrant la voie à la physique moderne. Grâce à sa lunette astronomique, il apporte des preuves observationnelles de l'héliocentrisme, réfutant ainsi le géocentrisme. Ce qui lui a valu la condamnation par l'Église pour hérésie, et d'imposture. Sur les variations du temps, Galilée a une vision corpusculaire de la chaleur. Pour lui, la chaleur est le résultat de l'agitation et du frottement des particules, jetant ainsi la base de la mécanique particulaire et de la thermodynamique.

Figure 4⁴⁴ : Ordre de planètes par rapport au Soleil

Ainsi, dans le système héliocentrique, les planètes ont chacune les caractéristiques climatiques particulières. Elles sont toutes austères à la vie, exceptée la Terre. Voici le tableau⁴⁵ de l'ordre des planètes par rapport au Soleil, leurs durées de Rotation et de Révolution, leurs températures et leurs caractéristiques climatiques :

N°	Planètes	Durée de Rotation	Durée de Révolution	Température	Caractéristiques du climat
1	Mercure	~ 59 jours terrestres	~ 88 jours	~167 °C	Pas d'atmosphère. Écarts extrêmes : 430 °C le jour, - 180 °C la nuit.
2	Vénus	~ 243	~ 225 jours	~ 464 °C	Atmosphère

⁴⁴ Sam Zylberberg, 2021, « Quel est l'ordre des planètes du système solaire ? Astronomie, <https://jeretiens.net/ordre-des-planetes-du-systeme-solaire/>

⁴⁵ Fabienne Guignard, 2024, « Tableau de synthèse des planètes du système solaire », Semcontellation.fr, <https://www.pinterest.com/pin/11329436551570171/>

		jours			épaisse de CO ₂ . Effet de serre extrême, chaleur uniforme et pluies d'acide sulfurique.
3	Terre	23 h 56 min 04 s	365,25 jours	~ 15 °C	Seule planète avec de l'eau liquide. En 2026, la température mondiale devrait dépasser de +1,4 °C les niveaux préindustriels
4	Mars	~ 24 h 37 min	~ 687 jours	~ -63 °C	Désert glacé. Atmosphère ténue, tempêtes de poussière géantes et nuages de glace de CO ₂ .
5	Jupiter	~ 9 h 55 min	~ 12 ans	~ -110 °C	Géante gazeuse. Vents violents, traînées de nuages colorés et tempêtes anticycloniques (comme la Grande Tache Rouge).
6	Saturne	~ 10 h 33 min	~ 29,5 ans	~ -140 °C	Vents les plus rapides du système solaire (jusqu'à 1 800 km/h) et tempêtes saisonnnières

					massives
7	Uranus	~ 17 h 14 min	~ 30 687 jours	~ -195 °C	"Géante de glace". Atmosphère calme mais extrêmement froide ; l'inclinaison de son axe crée des saisons extrêmes de 21 ans.
8	Neptune	~ 16 h 06 min	~ 60 190 jours	~ -201 °C	Climat très actif malgré l'éloignement. Vents supersoniques et présence de "taches sombres" (tempêtes éphémères).
9	Pluton	153 heures	90 560 jours	-232 °C	Atmosphère éphémère : Elle est composée principalement d'azote, avec des traces de méthane et de monoxyde de carbone.

Bien que les travaux de Galilée et de ses devanciers n'exposaient pas encore explicitement le problème de « changements climatiques » planétaires au sens contemporain, mais leurs cosmologies apportent une vision révolutionnaire du fonctionnement de l'Univers. Il en ressort que le ciel n'est ni parfait ni immuable et que la Terre est une planète comme les autres, soumise à des mouvements et variations naturels. Si les astres changent, alors la Terre aussi. Déjà, les alternances jour–nuit et saisons s'expliquent par les mouvements de la Terre. Par conséquent, le climat dépend de la position de la Terre par

rapport au Soleil et de son mouvement annuel. Aussi, les variations du climat terrestre s'expliquent par le fait que la distance Terre–Soleil n'est pas constante, l'ensoleillement et les manifestations d'autres phénomènes naturels varient. Le climat n'est pas un ordre divin immobile, mais un phénomène ayant des causes astronomiques, mais aussi anthropiques comme nous les verrons dans les activités des technologies spatiales.

Nous relevons particulièrement l'apport de la mécanique de Galilée à l'exploration et à l'exploitation de l'Univers en général et l'exploitation de la Terre en particulier. En effet, grâce à la mécanique galiléenne, les trajectoires deviennent calculables et les objectifs spatiaux sont facilement atteignables. C'est ce qui permettra le lancement de satellites, les missions spatiales interplanétaires, les mises en orbite précises. Les lois de la mécanique galiléenne sont à la base des orbites stables, du fonctionnement des satellites de communication, des instruments d'observations météorologiques et GPS (*Global Positioning System*). Sans elles, il n'y aurait ni exploitation des ressources spatiales, ni stations spatiales, ni observation astronomique moderne. Galilée n'a lancé pas de fusées, mais il a fourni les outils conceptuels indispensables à la conquête spatiale, avec les conséquences que nous connaissons aujourd'hui en matière de crise climatique.

2 - Apports et impacts environnementaux des technologies spatiales contemporaines

L'imagination et la créativité des pionniers de la cosmologie ont permis des observations de plus en plus précises et des investigations de plus en plus pointues. L'astrophysique semble contribuer à la lutte contre crise environnementale dont elle peut aussi constituer un facteur aggravant.

2.1- Rôle de l'astrophysique dans la météorologie et la climatologie

Beaucoup de données de l'astrophysique sont indispensables à la météorologie et à la climatologie. Ce qui fait dire que « Certaines applications du spatial sont indispensables, je pense notamment aux missions scientifiques d'étude du système Terre et à la gestion des catastrophes naturelles. Les données spatiales d'observation de la Terre sont nécessaires pour surveiller l'évolution du climat » (Miraux).



Évoquons d'abord quelques explorations de l'espace par les superpuissances. En effet, le lancement du premier satellite russe *Sputnik 1*, est effectué le 4 octobre 1957.

Advient celui des Américains *Explorer 1*, le 31 janvier 1958. Le satellite français *Astérix* à son tour mis sur orbite le 26 novembre 1965, faisant de la France troisième pays à envoyer un satellite dans l'espace. Ces trois premiers sont tous des satellites des missions scientifiques d'astrophysique. Il s'en suivra de satellites d'observation des données climatiques.

Figure 4⁴⁶

On note une importance croissante à la disponibilité de moyens d'observation capables de renseigner sur l'état de la planète, de détecter des changements imprévus, d'anticiper des manifestations extrêmes. Il s'agit des satellites pouvant fournir des données globales fiables qui alimentent les modèles de prévision des variations atmosphériques et des océans à moyen et long terme. Nous nous intéressons, ci-après, aux principaux satellites d'observation, notamment :

- Les *Pléiades*, une constellation de satellites du Centre national d'études spatiales (CNES), ont pour but l'observation et la cartographie de la Terre à très haute résolution. Elles fournissent des images d'une très grande précision en un temps record. Grâce à leur capacité de revisite quotidienne, ils permettent de suivre les inondations, la déforestation, d'évaluer rapidement des zones sinistrées, de surveiller la santé des cultures, de gérer de manière optimale des ressources et de connaître l'impact minier sur climatique ;
- Le *Venus* 'Vegetation and Environment monitoring on a New micro-Satellite', satellite du CNES et de l'Agence spatiale israélienne (ISA), a pour mission principale d'observer et d'étudier l'évolution de la biosphère et des surfaces terrestres pour répondre aux enjeux des changements climatiques. Plus précisément, *Venus* permet d'observer, de manière régulière, les écosystèmes, les forêts et les zones cultivées et de fournir, lui aussi, des images multispectrales de haute

⁴⁶ Alain Ratier, 2024, Les satellites d'observation au rendez-vous du changement climatique, Académie royale de Belgique,

https://www.google.com/search?sca_esv=6b6a4b9baede048b&sxsrf

résolution, aidant à évaluer l'état de santé des cultures, l'humidité des sols et à optimiser les pratiques agricoles. Ces données permettent de suivre la désertification, l'érosion des sols et la prévention des feux de forêt ;

- L'OCO-2 '*Orbiting Carbon Observatory-2*', satellite de la NASA '*National Aeronautics and Space Administration*', permet d'identifier les zones géographiques qui relâchent du CO₂ (comme les 'activités humaines ou les feux de forêt) et celles qui l'absorbent (comme les océans et les forêts), de suivre les variations saisonnières et géographiques du CO₂ pour mieux comprendre comment notre planète réagit aux émissions de gaz à effet de serre. Grâce au OCO-2, l'on peut mesurer la fluorescence de la chlorophylle, d'évaluer l'activité photosynthétique, la santé des plantes et des forêts.

- Le SWOT '*Surface Water and Ocean Topography*', satellite développé conjointement par la NASA, le JPL '*Jet Propulsion Laboratory*', le CNES, avec des contributions de l'ASC (Agence Spatiale Canadienne) et de l'Agence Spatiale Britannique "*UK SPACE AGENCY*". Il couvre plus de 90 % de notre planète et fournit des données essentielles sur 30 des 55 variables climatiques indispensables. Sa mission est de mesurer les variations du niveau de l'eau et le débit dans des millions de lacs, réservoirs et rivières à l'échelle mondiale. Cela permet une meilleure gestion de l'eau douce et une préparation aux sécheresses ou aux inondations. Il fournit les images des caractéristiques et manifestations des océans. Ce qui aide les scientifiques à comprendre comment les océans absorbent et stockent la chaleur, influençant ainsi le changement climatique mondial. Le satellite SWOT permet aussi de surveiller la topographie du niveau de la mer dans les régions côtières, les estuaires et les deltas ; ce qui est essentiel pour évaluer l'impact et prévoir les trajectoires de l'élévation du niveau de la mer.

- Le *Sentinel* (Sentinelle), une famille de satellites développées par l'Agence Spatiale Européenne (ESA), fournissent des données pour la surveillance environnementale, le développement durable et la sécurité, en observant la Terre sous tous ses angles. Plus spécifiquement,

- ✓ *Sentinel-1* a pour missions de surveiller permanemment les glaces de mer, les marées noires ;
- ✓ *Sentinel-2*, se focalise sur l'imagerie optique pour l'observation des terres, le suivi de la végétation et de l'agriculture, la cartographie de l'occupation des sols et le support aux opérations d'aide humanitaire lors de catastrophes naturelles ;

- ✓ *Sentinel-3* est destiné à mesurer l'état et la température des océans et des surfaces continentales. Il joue un rôle capital dans l'océanographie et la climatologie.
- ✓ *Sentinel-4* et *Sentinel-5* sont destinés à la surveillance de la composition chimique de l'atmosphère et de la qualité de l'air.
- ✓ *Sentinel-6* est spécialisé dans l'altimétrie radar de haute précision. Son but est de mesurer l'évolution et la hauteur du niveau mondial des océans pour évaluer l'impact du réchauffement climatique.

Le revers de cette médaille est que d'innombrables engins spatiaux deviennent nuisibles à l'atmosphère et la stratosphère.

2.2- Des pollutions spatiales

Les activités spatiales de lancements et de la mise en orbite des satellites contribuent à l'émission de substances polluantes dans l'atmosphère et la stratosphère. La situation en d'autant plus inquiétante, vu les progrès techniques en la matière, facilitant l'exploitation du Cosmos. L'astronomie présente des ambitions démesurées et une forme de mégalomanie technologique. Avec les lobbies politico-économiques des grandes puissances, l'espace est en phase de devenir un lieu de positionnement géostratégique, un pôle de conglomération des techniques postmodernistes. Les satellites des méga-constellations telles que *Starlink* de *SpaceX* (10676)⁴⁷, *OneWeb* européen (650 satellites) ou *Guowang* (168 satellites)⁴⁸, pullulent l'espace.

La concurrence dans la conquête spatiale est très âpre ces dernières années, marquée par un basculement vers le privé et surtout une rivalité géopolitique bipolaire USA & Chine. Plus de 90 % des activités en orbite basse sont désormais commerciales. Avec le Programme Artémis (NASA), les USA s'appuient sur des partenaires privés pour transporter du fret et des astronautes vers la Lune. La Chine, quant à elle, avec sa Mission *Tianwen 2*, collecte d'échantillons d'astéroïdes, en vue des missions habitées lunaires. Mais l'espace aussi devient un domaine de défense pour les grandes puissances. L'enjeu n'est plus seulement d'y planter un drapeau, mais d'établir une présence durable avec des dispositifs de surveillance, de renseignements

⁴⁷ Avec déjà 10676 satellites en orbite sur une capacité visée de 12 000 satellites de première génération, des demandes sont déposées pour atteindre jusqu'à 42 000 appareils à terme. Elon Musk a également évoqué des ambitions allant jusqu'à 100 000 satellites.

⁴⁸ 168 satellites déjà opérationnels, sur l'objectif visé de 13 000.

et d'orientation. Les États-Unis dominent, mais la Chine s'impose comme un concurrent majeur avec des projets de constellations importantes et des objectifs lunaires. L'Europe, quant à elle, peine à maintenir sa compétitivité avec l'ESA et Ariane, face à la concurrence américaine et chinoise.

Et l'Afrique dans tout ça ? Elle est au cœur des enjeux éthiques et politiques de la pollution spatiale, même si elle est encore un acteur spatial marginal. La responsabilité de l'Afrique dans la pollution spatiale est très minime. Elle est plutôt victime des pollutions et risques de chute des débris sur des zones habitées. Aussi, elle est très dépendante des satellites étrangers pour ses télécommunications, sa météorologie, ses prévisions climatiques, son agriculture, sa sécurité alimentaire et pour la prévention des catastrophes naturelles. Avec cette subjection aux coûts exorbitants des satellites de piètre qualité, l'Afrique replonge dans le colonialisme spatial. Cet assujettissement consiste en ce que les puissances étrangères captent les orbites et les ressources spatiales africaines. Pour ce faire, la décolonisation spatiale sera un vecteur d'affirmation culturelle politique et économique de l'Afrique.

Pour s'émanciper, s'affranchir de ce néocolonialisme, l'Afrique doit relever quelques défis majeurs dont celui de la fuite des cerveaux. En effet, la plupart des ingénieurs et scientifiques africains sont formés en dehors du continent et travaillent dans des puissances aérospatiales étrangères. Les États africains doivent faire en sorte que les accords de coopération dans le domaine du spatial incluent le transfert de compétence et de technologie, plutôt que de simples emplois de main d'œuvre. Ils doivent investir sur la formation, les infrastructures et les matériels d'accès à l'orbite terrestre. C'est ce qui conduit à la création de l'Agence spatiale africaine ou *African Space Agency* (AfSA) par l'Union africaine et s'inscrit dans le cadre de la vision de son « Agenda 2063, l'Afrique que nous voulons », visant à « faire de l'Afrique un continent plus prospère, mieux intégré, pacifique, démocratique et capable de jouer un rôle majeur dans le monde ». Adopté à la 24^e session ordinaire de l'Assemblée générale de l'Union africaine le 31 janvier 2015 à Addis-Abeba, cet Agenda s'articule autour de sept grandes aspirations, à savoir :

- Une Afrique prospère, fondée sur une croissance inclusive et un développement durable ;
- Un continent intégré, uni sur les plans politique et économique ;
- Une Afrique de bonne gouvernance, respectueuse de la démocratie, des droits humains et de l'état de droit ;

- Une Afrique en paix et en sécurité ;
- Une Afrique dotée d'une forte identité culturelle, valorisant son patrimoine et ses valeurs ;
- Une Afrique où le développement est porté par les peuples, notamment les femmes et les jeunes ;
- Une Afrique forte et influente sur la scène internationale.

À cet égard, l'Afrique doit chercher à acquérir sa souveraineté spatiale, sans quoi, ces aspirations ne seront qu'un leurre. Organe de coordination, d'harmonisation et de promotion des politiques et programmes spatiaux des pays membres, l'AfSA vise à utiliser les technologies spatiales et les données satellitaires pour stimuler le développement socio-économique, améliorer l'observation de la Terre et renforcer l'intégration du continent. De manière opérationnelle, elle a pour objectifs de regrouper les différents programmes spatiaux nationaux, fournir des données satellitaires essentielles pour l'agriculture, la gestion de l'eau, la surveillance du climat, la prévention des catastrophes naturelles et faciliter le partage des infrastructures spatiales afin de garantir aux États membres un accès optimal aux services et produits du spatial. Pour Dr Tidiane Ouattara, Présidente du Conseil de l'AfSA,

L'Afrique ne veut plus observer les étoiles, elle veut désormais les exploiter. Pour ce faire, les technologies spatiales (satellites, géolocalisation, observation de la terre) sont devenues une nécessité pour le continent, et non un luxe. C'est l'espoir de maîtriser nos ressources, de protéger nos territoires et de sécuriser nos populations. Elles sont cruciales pour l'agriculture, la gestion des ressources naturelles, la surveillance du territoire et les télécommunications dans des zones souvent isolées. (Ouattara)

Les méga-constellations, avec chacune des centaines de satellites, augmentent le trafic orbital, entraînant la pollution stratosphérique issue des émissions de suies, alumine et composés chimiques, la pollution orbitale liée aux débris spatiaux et la pollution lumineuse et radioélectrique. Prenons par exemple Starlink de *SpaceX*. En effet, les pollutions orbitales générées par cette constellation de satellites se manifeste principalement par l'augmentation critique des débris en orbite basse, la gêne aux observations astronomiques et la désintégration des matériaux. Avec des milliers d'engins déployés, les satellites Starlink créent des nuages de débris de ses satellites tombés en panne. Ils sont impliqués en grande partie dans les collisions en orbite. Aussi, ils

causent la pollution lumineuse et les interférences scientifiques. En clair, les satellites très réfléchissants en orbite basse strient le ciel nocturne et perturbent les observations des télescopes et les travaux des astronomes. Les ondes émises par ces satellites perturbent les radiotélescopes, empêchant l'étude adéquate de l'univers : « La densité des objets en orbite terrestre basse (LEO) devient si élevée que les collisions entre ces objets créent une cascade qui augmente de manière exponentielle la quantité de débris spatiaux au fil du temps, rendant ainsi certaines régions orbitales dangereuses et inutilisables pour de nombreuses générations » (Kessler).

Les activités des technologies spatiales produisent aussi la pollution atmosphérique notoire. Aux lancements, les fusées rejettent d'importantes quantités de gaz et de particules dans l'atmosphère. Au décollage, les propergols liquides, carburants les plus utilisés dégagent l'hydrogène et l'oxygène liquide et émettent la vapeur d'eau, le CO₂, le NO_x et les suies. Les propergols solides émettent l'acide chlorhydrique (HCl), l'oxydes d'aluminium, impactant la couche d'ozone. Et, en fin de vie, les satellites se consomment dans l'atmosphère. Les oxydes métalliques libérés lors de leur combustion modifient le bilan thermique de la haute atmosphère et contribue à la dégradation de la couche d'ozone et au changement climatique. Les ambitions de SpaceX d'envoyer à terme jusqu'à un million de satellites soulèvent de vives inquiétudes au sein de la communauté scientifique. Dans ses recherche, Marais Emmanuel arrive aux résultats suivants :

Le spatial est la seule activité humaine qui impacte la haute atmosphère, et en particulier la stratosphère, située entre 12 et jusqu'à 50 km d'altitude. Les émissions annuelles de la filière s'élèvent à 1,8 million de tonnes, contribuant au réchauffement de l'atmosphère. « *La vapeur d'eau injectée dans la haute atmosphère, où se forment les nuages, a un impact sur le réchauffement climatique* », car ces nuages rejettent des composants d'acide chlorhydrique et des particules de suies et d'alumines. (Marais 9)

Miroux Leo, renchérit que « Les fusées rejettent dans la haute atmosphère notamment des particules (suies et alumine) en très grosse quantité. Or, l'effet de réchauffement des suies est 500 fois plus élevé en haute atmosphère qu'en basse atmosphère » (Miroux).



Photo 5⁴⁹



Photo 6⁵⁰

Photo

7

51



Aussi, des concentrations importantes de métaux lourds sont détectées dans la stratosphère. Des traces de lithium, d'aluminium, de cuivre et de plomb. Au moins 130 millions de tonnes de déchets gravitent autour de la Terre, dont 3000 épaves de satellites. Notons qu'avec le développement exponentiel de l'astronomie civile, l'espace ne devient qu'un espace de tourisme orbital. Cela donne à penser que c'est un modèle à suivre. Et pourtant, le tourisme spatial n'est ni une nécessité, ni une priorité, mais une catastrophe environnementale.

⁴⁹ *Émilie Martin*, Décollage d'Ariane 5 le 15 août 2020, en Kourou, Guyane française, ESA/Cnes/Arianespace/P. Piron,

⁵⁰ Décollage du système de transport spatial Starship de SpaceX, une fusée géante conçue pour être entièrement réutilisable, 5^{ème} vol d'essai ayant réussi à ramener le premier étage (Super Haesy) sur la base de lancement en octobre 2024

⁵¹ Des débris dans l'orbite terrestre, réalisée par l'Agence spatiale européenne. PHOTO : LA PRESSE CANADIENNE ; Agence France-Presse, Publié le 4 août 2020 à 19 h 24 UTC+1.

En effet, avant les années 2010, les décollages des fusées et les retours d'engins spatiaux étaient des événements relativement exceptionnels. Mais de nos jours, « en raison des progrès technologiques et de l'absence de réglementation, il ne passe pas une semaine sans qu'une agence spatiale ou une entreprise ne lance une fusée. Le catastrophisme du tourisme spatial s'explique par la démultiplication des lancements d'engins dans l'espace » (Cziczoe).

Le nombre de satellites en orbite a explosé, il est passé d'environ 2000 dans les années 2010 à un peu moins de 13 000 aujourd'hui. Selon le collectif *Pour un réveil écologique*, 186 lancements ont eu lieu en 2022, contre 92 en 2014. La plupart finissent un jour redescendre sous l'effet de la chaleur et des frottements, leurs carlingues libèrent alors des composés chimiques ». En sus, des entreprises, comme *Space adventures*⁵², *Space X*⁵³ et *Virgin Galactic*⁵⁴ investissent davantage dans le tourisme spatial. Elles annoncent même que les tickets pour des vols touristiques sont déjà disponibles en vente. Cela suppose un nombre de lancements sans cesse grandissant dans les années à venir : « Il y aura jusqu'à 50.000 satellites supplémentaires d'ici à 2030 » (Delacharlery 20).

À ce rythme, l'élévation de l'empreinte carbone de l'astrophysique pourrait atteindre celui de l'aviation. Il y a là matière à redouter un scénario dramatique à la "*Gravity*", ou au « *syndrome de Kessler* ». Par catastrophe à la "*Gravity*", nous faisons référence au film *Gravity* (2013) d'Alfonso Cuarón, pour expliquer une catastrophe spatiale en chaîne, soudaine et incontrôlable qui déclenche une réaction en cascade. Ceci pour évoquer une situation extrême, d'impuissance, de danger permanent, où tout peut basculer en quelques seconds. Par « *syndrome de Kessler* », nous faisons référence au scénario catastrophe en orbite terrestre, théorisé en 1978 par l'ingénieur de la

⁵² Space Adventures est la première entreprise de tourisme spatial, fondée en 1998 par l'Américain Eric C. Anderson. Elle organise des vols spatiaux privés vers la Station spatiale internationale (ISS) en collaboration avec Roscosmos, une l'agence chargée du programme spécial civile russe.

⁵³ SpaceX, officiellement Space Exploration Technologies Corporation, est une entreprise créée en 2002 par l'américain Elon Musk. Elle est spécialisée dans le domaine de l'astronautique et du vol spatial.

⁵⁴ Virgin Galactic est une société aérospatiale lancée en 2004 par l'entrepreneur britannique, fondateur du groupe Virgin, Sir Richard Branson. L'entreprise propose de fournir des vols suborbitaux à des fins touristiques et de recherches.

NASA Donald J. Kessler. Par ces exemples, nous exprimons la préoccupation que trop de débris spatiaux finissent par s'entrechoquer, et chaque collision crée encore plus de débris, ce qui provoque des réactions en chaîne, politiquement et techniquement incontrôlables.

3 - Défis juridiques, technologiques et éthiques des activités spatiales contemporaines

La conjugaison de toutes ces pollutions suffoque l'environnement, l'atmosphère jusqu'à la stratosphère ; les dommages sont multidimensionnels, incommensurables, affectant la biosphère tout entière. Malgré la connaissance des risques et des solutions à envisager, des actions de dépollution, d'atténuation et de résilience, les pouvoirs publics et les acteurs privés ne semblent pas prêts à y mettre les moyens. L'espace semble faire plutôt l'objet des convoitises. Pourtant il y a péril à la demeure comme l'a alerté l'ONU : « C'est maintenant qu'il faut agir, tant que les milliardaires sont encore en train d'acheter leur ticket... La réglementation internationale est nécessaire, il n'est pas raisonnable de laisser des acteurs privés congestionner l'espace ». C'est à juste titre que Daniel Lambach avertit que « Si rien n'est fait pour contre carter ces débris spatiaux, l'atmosphère sera laissée aux mains d'Elon Musk, Jeff Bezos et bien d'autres explorateurs spatiales » (Hall). Les solutions politiques, technologiques et éthiques sont à explorer.

3.1- Cadre juridique international et géopolitique de lutte contre la pollution spatiale

L'exploitation de l'espace était une quête de curiosité scientifique et de démonstration de puissance technologique pour se révéler être une affaire géopolitique et une disposition géostratégique aujourd'hui : « On ne se rend pas assez compte que la question du climato-négationnisme organise toute la politique du temps présent » (Latour 37). Pour ce faire, en 1958, l'ONU a pris en main le problème en créant le COPUOS (Comité pour l'utilisation pacifique de l'espace), avec pour lignes directrices la « Limitation des explosions en orbite » et la « Désorbitation après 25 ans maximum ». Les grandes agences spatiales (ESA, NASA, Roscosmos, CNSA, entre autres) ont créé l'IADC (Inter-Agency Space Debris Coordination Committee), pour « harmoniser les bonnes pratiques techniques ». Les préoccupations sur sa pollution sont exprimées dans les Recommandations et Traités

internationaux. Juste cinq (5) ans après le premier lancement dans l'espace, en 1967, un *Traité de l'Espace* souligne la responsabilité des États des dommages causés par les objets spatiaux. Connue sous le nom de *Convention sur la responsabilité*, du 1^{er} septembre 1972, elle stipule dans sa résolution 2777, qu'« un État de lancement est tenu d'indemniser tout dommage causé par ses objets spatiaux à la surface de la Terre ou aux aéronefs ».

Malencontreusement, ces Traités et Conventions ont de grosses faiblesses temporelles et structurelles. En effet, au plan technologique, les textes sont totalement dépassés. Au moment du Traité de l'espace de 1967, par exemple, il n'y avait pas des satellites privés, pas de méga-constellations, donc pas de pollution massive en orbite. Au plan structurel, les États sont dits seulement « responsables », mais ils n'ont pas d'obligations contraignantes. Les Recommandations ne sont que des lignes directrices, mais elles ne sont pas traduites en Lois, prévoyant des sanctions. Comme il n'y a pas une agence internationale de contrôle ou de surveillance, chaque État s'auto-contrôle, autorise et encourage ses propres opérateurs dans le spatial. Il y a là manifestement un conflit d'intérêt, car l'État est à la fois juge et partie. Aussi, avec la prolifération d'engins dans l'espace, les collisions peuvent impliquer plusieurs objets, ce qui entraîne la complexité d'identification de l'origine exacte d'un débris. En fait, un objet spatial reste juridiquement la propriété de l'État qui l'a lancé, même s'il est hors d'usage. Ce qui empêche le nettoyage par un tiers. Et pourtant, l'espace est un bien commun mondial, un patrimoine de l'humanité. Il se pose ici un problème de gouvernance des débris spatiaux et de violation du *Principe de non-appropriation de l'espace* du Traité sur l'espace extra-atmosphérique de 1967 qui stipule dans son Article 2 que « L'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes, ne peut faire l'objet d'appropriation nationale par proclamation de souveraineté, ni par voie d'utilisation ou d'occupation, ni par tout autre moyen ». Les technologies, aussi efficaces soient-elles, peuvent être mises à jour, mais sans cadre politique contraignant, elles resteront sous-utilisées :

C'est au regard de ce corpus juridique que doivent être traités les enjeux actuels que sont la gestion des débris autour de la Terre et l'éventuelle appropriation des ressources spatiales par des entreprises privées. Car, formellement, l'espace n'est pas à vendre : il est considéré par la loi comme un bien ou un patrimoine commun, au même titre que la mer et l'Antarctique. Mais qui sera le gendarme (efficace) de l'espace, le garant de l'application du

droit spatial ? La problématique est la même en ce qui concerne les débris autour de la Terre : l'absence de réglementation contraignante et de contrôle font reposer la responsabilité et la gestion sur les seuls acteurs et leur bonne volonté. Est-ce suffisant ? (Arnould)

Heureusement, les récentes condamnations juridiques liées aux activités spatiales et minières donnent à espérer aux mesures plus contraignantes. En effet, le 2 octobre 2023, la Commission fédérale des communications des États-Unis (FCC) a infligé la toute première amende de l'histoire à l'opérateur de télévision par satellite *Dish Network* pour abandon de débris spatiaux et impact environnemental sur Terre des infrastructures de lancement. L'entreprise n'a pas correctement désorbité son vieux satellite *EchoStar-7* (lancé en 2002). Elle a abandonné à seulement 122 kilomètres au-dessus de sa zone de travail, au lieu de le propulser à 300 kilomètres plus haut dans une « orbite cimetière » sécurisée comme elle s'y était engagée. Elle est condamnée à une amende de 150 000 dollars associée à une reconnaissance de responsabilité de l'entreprise. Plus récemment encore, le 25 juin 2026, le tribunal judiciaire de Paris a condamné la multinationale TotalEnergies pour « manquement à son devoir de vigilance climatique ». Ce verdict fait suite à l'action initiée par la ville de Paris et plusieurs ONG. La justice estime que le devoir de vigilance s'applique pleinement aux émissions indirectes de carbone (Scope 3), c'est-à-dire celles générées par la combustion du gaz et du pétrole après leur vente. Ces émissions représentent près de 90 % de l'empreinte carbone totale du groupe. Pour Alice Timsit, adjointe au maire de Paris chargée de la transition écologique, « ce jugement est une décision majeure dans l'histoire du droit climatique français (...) Pour la première fois, le juge reconnaît que les risques climatiques relèvent bien des obligations de vigilance des grandes entreprises, et aucune multinationale fossile ne peut y échapper » (Timist).

3.2- Les solutions technologiques et principes éthiques

Comme le spatial est un domaine hautement technologique, les solutions contre ses méfaits doivent l'être autant. Nous présentons ici quelques actions curatives et les mesures préventives en la matière. En effet, l'espace est déjà très pollué de débris, il faut alors éviter les explosions de satellites en fin de mission, mais les ramener aux centres de récupération et de destruction appropriés. Il s'agit là d'une solution de désorbitation contrôlée en fin de vie.

Bien qu'insuffisants, il existe déjà des méthodes de nettoyage de débris. Nous pouvons citer entre autres les bras robotisés, les filets ou harpons, les attaches magnétiques (pour des débris métalliques), la fragmentation minimale facilitant transport des débris. Nous en ajoutons les technologies émergentes et futuristes que sont les remorqueurs spatiaux, satellites capables de capter, de déplacer et de désorbiter d'autres satellites. Mais seulement, la production des débris augmente plus vite que la capacité de leur nettoyage. Que les nouveaux satellites soient multifonctionnels et de durée précise.

Après le droit et la technologie, l'application des principes éthiques peut contribuer à la dépollution de l'espace. Et comme le dit Hans Jonas, « Le Prométhée définitivement déchaîné, auquel la science confère des forces jamais encore connues et l'économie de son impulsion effrénée, réclame une éthique qui, par des entraves librement consenties, empêche le pouvoir de l'homme de devenir une malédiction pour lui » (Jonas 30). Étant une réflexion sur les finalités, les valeurs de l'existence, les conditions d'une vie heureuse, l'éthique oriente sur « ce que l'on devrait faire », même quand la loi ou la technique ne l'impose pas encore et « ce que l'on ne devrait pas faire », même quand la loi l'impose. Nous nous référons à quelques principes éthiques majeurs liés à la pollution spatiale, notamment les principes de non-malfaisance, de responsabilité et du pollueur payeur. En effet, la non-malfaisance est cruciale pour interdire et abolir toute action qui pourrait entraîner des effets négatifs. Il s'agit de réduire les risques de préjudices et de maintenir une approche prudente dans les innovations scientifiques.

Le principe de responsabilité souligne l'importance d'agir en tenant compte des conséquences de nos actions, notamment envers les générations futures et l'environnement. Les réchauffements climatiques causent déjà beaucoup de problèmes aujourd'hui, à l'exemple L'Europe, continent tempéré, mais qui traverse actuellement une vague de chaleur exceptionnelle et historique en ce mois de juin 2026, marquée par des températures dépassant fréquemment les 40 °C, selon le relevé de température ci-après, de Météo France du 25 juin 2026 :

Ville	Température maximale normale en juin	Température maximale constatée (Juin 2026)	Écart à la normale
Paris	22 °C à 25 °C	41 °C	+16 °C à +19 °C
Londres	20 °C à 22 °C	39 °C	+17 °C à +19 °C

Madrid	28 °C à 30 °C	44 °C	+14 °C à +16 °C
Berlin	22 °C à 24 °C	38 °C	+14 °C à +16 °C
Séville	32 °C	45 °C	+13 °C

Mais le pire est à venir au regard de l'évolution technologique de mise en orbite des satellites commerciaux, touristiques et militaires. Le principe de justice intergénérationnelle devrait être appliqué ici. Il faut donc penser à l'avenir de l'espace et aux générations futures. L'impératif éthique formulée par Hans Jonas stipule : « Agis de façon que les effets de ton action soient compatibles avec la permanence d'une vie authentiquement humaine sur terre » (45). Cela signifie que nous devons éviter toute action qui pourrait compromettre les conditions de survie de l'humanité.

Le principe de pollueur-payeur stipule que ceux qui polluent doivent assumer le coût des mesures de prévention et de réparation des dommages environnementaux qu'ils causent. Ce principe encourage une responsabilité accrue des pollueurs et vise à réduire l'impact des activités humaines sur l'environnement. L'espace n'est pas une décharge. En cas de doute, il faut arrêter ou limiter les lancements et la destruction de satellites dans l'espace. Il ne faut donc pas aggraver un risque irréversible ou le *syndrome de Kessler*. Les acteurs de la pollution spatiale doivent assumer, même à long terme, leur responsabilité, en prévenant les dommages. Les pouvoirs publics, nationaux et internationaux doivent s'affirmer pour ce principe soit appliqué dans la lutte pour l'environnement et général et dans le spatial en particulier.

Conclusion

Il ressort de l'analyse du rôle de la cosmologie dans l'environnement spatial que la mise en évidence des enjeux environnementaux actuels est subséquente à la compréhension du fonctionnement de l'Univers. Cette compréhension a émergé des cosmogonies et cosmologies antiques, postulant des conceptions géocentriques puis héliocentriques pour aboutir à la physique expérimentale, mathématisée et instrumentalisée. Il en résulte des technologies spatiales ambivalentes. Des instruments d'observation aux satellites, les sciences spatiales disposent aujourd'hui d'outils performants au service de la météorologie et de la climatologie, leur permettant une meilleure surveillance et prévention des phénomènes environnementaux et climatiques. Malencontreusement, les activités des technologies spatiales aggravent

certain risques environnementaux. Avec la construction des infrastructures, les lancements des fusées, la prolifération des satellites aux fins militaires, économiques et touristiques, l'atmosphère et la stratosphère suffoquent de gaz à effet de serre, de suies, d'alumine, des composés chimiques, des débris orbitaux et des pollutions lumineuses et radioélectriques causées par les méga-constellations. Conséquemment, la cosmologie contemporaine est confrontée aux défis de gestion durable de l'espace, de réduction de la pollution orbitale, de limitation d'impacts des activités spatiales et de préservation de la nature pour les générations futures. En sus des engagements politiques à prendre et des proues technologiques à réaliser, les activités du spatial doivent s'accompagner d'une réflexion éthique écologique de non-malfaisance, de responsabilité et de justice climatiques afin de pallier le risque de catastrophe planétaire globale.

Œuvres citées

- Aristote, *Du Ciel*, Les Belles Lettres, 2023, 322 pages ;
- Arnould, Jacques. « Pour une éthique de l'exploitation spatiale ». *Qu'allons-nous faire dans ces étoiles ? De l'éthique dans la conquête spatiale*, Éditions du Cerf, 2009, p. 115-142 ;
- Azam, Geneviève, Harribey, Jean-Marie, et Plihon, Dominique, « Co/nstruire un monde écologique et solidaire », *Alternatives économiques*, vol 2, n°34, 2007, pp. 60-69 ;
- Blanchard, Albert, *Des révolutions des sphères célestes de Nicolas Copernic*, Ed. Bergeret, 1987, 386 pages ;
- Boillot, Alexis, *L'astronomie au 19^e siècle*, Paris, Ed. Bnf collection ebooks, 2015, 428 pages ;
- Chresus, Jean, « L'espace n'est pas un luxe, c'est une nécessité », © Koaci.com, Abidjan, 01 mai 2026, <https://www.koaci.com/index.php/article/cote-divoire-industrie-spatiale-> consulté le 24/06/2026 ;
- Delacharlery, Marie, « Il y a tellement de fusées... » : le climat de la Terre affecté par la multiplication des lancements spatiaux ? ». *TF1 INFO*, 20 oct. 2023, consulté le 19/04/2026 ;
- Deparis, Vincent, *Du cosmos des mythologies au géocentrisme*, Éd., ENS de Lyon/ Culture Sciences-Physique, 2017, 20 pages ;
- Drouin, Fabrice, *L'astronomie en questions*, Paris, Ed. Vuibert, 2001, 208 pages ;
- Fortin, Caroline, « L'encyclopédie visuelle de notre monde : L'univers, la terre, la météo, les océans », *Montréal, éd. Québec Amérique*, 2007, 336 pages ;
- Galilée, Galileo., 1992, *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*, Éditions du

- Seuil, 520 pages ;
- Grenier de Clio, 2021, « Mythologie égyptienne », *Encyclopédie de mythologie*, 4 jan 2021, <https://www.google.com/search?q=Grenier+de+Clio%2C+Mythologie+%C3%A9gyptienne>, consulté le 03/05/2026 ;
- Jonas, Hans. *Le Principe responsabilité : Une éthique pour la civilisation technologique*. Flammarion, 1990, 464 pages ;
- Kaji9, « Les découvertes des pythagoriciens - Pythagore et l'astronomie », *site Zeste de Savoir*, 30 novembre 2024, pp.1 - 10, <https://zestedesavoir.com/tutoriels/676/theoreme-et-histoire-de-pythagore/713> ; consulté le 07/04/2026
- Kepler, Johannes, *La physique céleste*, Les Belles Lettres, 2011, 358 pages ;
- Kessler, Donald J. « Collision frequency of artificial satellites : The creation of a debris belt », *Journal of Geophysical Research : Space Physics*, Vol 83, Num A6, 1er Juin 1978, pp. 2637-2646, consulté le 27/09/2025 ;
- Knödseder, Jürgen, « Empreinte carbone des activités spatiales : Reflet de la physique », *CNRS*, Num 82, 2025, pp. 33 – 37, consulté le 27/09/2025 ;
- Lambach, Daniel et Luca, Wesel. « Tackling the Space Debris Problem: A Global Commons Perspective ». *Proceedings of the 8th European Conference on Space Debris*, ESA Advanced Operations and Capabilities Office, 2021, conference.sdo.esoc.esa.int/proceedings/sdc8/paper/230, consulté le 30/09/2025 ;
- Latour, Bruno, *Où atterrir ? Comment s'orienter en politique*, Éditions La Découverte, 2017 ;
- Lequeux, James. « Théorie héliocentrique d'Aristarque de Samos ». *Encyclopædia Universalis*, www.universalis.fr/encyclopedie/theorie-heliocentrique-d-aristarque-de-samos/. Consulté le 28 juin 2026.
- Marais, Emmanuel, "Impact of rocket launch and space debris air pollutant emissions on stratospheric ozone and global climate", *Earth's Future*, Vol. 10, Num. 6, 2022, pp. 1- 16, consulté le 07/11/2025;
- Miriaux, Leo, « The carbon footprint of astronomical research », *Nature Astronomy*, 2022, Vol. 6, p. 433–443, consulté le 27/09/2025 ;
- Nicolas, Copernic, *Des révolutions des orbes célestes*, Éd., Les Belles Lettres, 2015, 2 700 pages ;
- ONU, Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique (COPUOS), 1958, Résolution 1472 de l'AG/ONU ;
- RABIN Mathilde, « Climat. Quel est l'impact des fusées sur l'environnement ? », *Ouest-France, Science/Espace*, 10 février 2025, 1 p, consulté le 12/03/2026 ;
- Ratier, Alain, « Rendez-vous Espace » ». *Actes et communications scientifiques*,

- EUMETSAT / Académie de Marine, 2021, consulté le 27/09/2025 ;
 Rédaction, « TotalEnergies condamné à prendre en compte les émissions carbone de ses clients » *Reporterre, le média de l'écologie*, 25 juin 2026, <https://reporterre.net/TotalEnergies-condamne-a-prendre-en-compte-les-emissions-carbone-de-ses-clients>, consulté le 26/06/2026 ;
 Ryan, Robert G., Eloise A. Marais, Chloe J. Balhatchet et al., "Impact of Rocket Launch and Space Debris Air Pollutant Emissions on Stratospheric Ozone and Global Climate", *Earth's Future*, Vol. 10, Nu. 6, 09 juin 2022, 13 pages e-location e2021EF002612, consulté le 17/08/2025 ;
 Sfez, Betty et Chadenet, Thomas, « Debris spatiaux : une premiere condamnation pour un operateur americain », *Village de la justice*, <https://cnes.fr/dossiers/debris-spatiaux>, consulté le 26/06/2026 ;
 Staszak J-F., « *La géographie d'avant la géographie. Le climat chez Aristote et Hippocrate* », *Hommes et Terres du Nord*, 1995, pp. 63-64 ;
 Taillet Richard, « Cours de cosmologie », 12 épisodes indépendants (oraux/vidéos), Université Grenoble Alpes, 18 novembre 2015, janvier 2016 ;
 Zylberberg, Sam, « Quel est l'ordre des planètes du système solaire ? ». *JeRetiens*, 25 oct. 2021, jeRetiens.net/ordre-des-planetes-du-systeme-solaire/, consulté le 07/04/2026

How to cite this article/Comment citer cet article:

MLA: Dimngar, Alndingangar and Ousmane Mahamat Maldou. "From cosmology to space technologies: environmental and ethical issues regarding space exploitation." *Uirtus*, vol. 6, no. 2, August 2026, pp. 137-162, <https://doi.org/10.59384/uirtus.aug2026.n71>.